



扣件故障分析

文 / Guy Avellon

程序

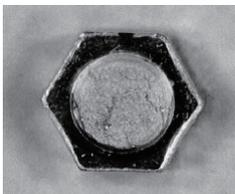
判斷扣件故障是可以依據某些指導原則，並詢問某些問題；調查的首要步驟為，儘量收集扣件的完整應用資料：

- 如何安裝扣件—用手動 / 氣動工具、或是扭力扳手？
- 所使用的輔助組件：平華司、類型、螺帽、等級、表面處理、塗裝等？
- 接頭所承受的外部負荷類型：重級衝撞、振動、轉動、靜態、軸向、橫向等？
- 負荷總量多少？
- 環境因素為何？
- 接頭是否有多件扣件？
- 多種扣件的緊定方式：交叉式、增量負荷、逐一負載？
- 扣件緊定位置：從頭部、從螺帽或交互緊定？
- 接頭狀況為何：生鏽、油漆表面、粗糙、平滑、有潤滑？
- 故障部位狀況為何：油漆表面、生鏽、油膩、頭部烤焦？
- 故障位置為何處：頭部、螺紋終結處、緊鄰螺帽外側、外部斷裂？
- 斷裂表面狀況為何：平滑、鈍滯、光亮、生鏽？
- 該批扣件是否有化學性及機械性測試結果（報告）？

調查

至此應開始將所收集資料分類，有時可透過樣本外觀與故障表面，判斷可能的原因。如此可縮小問題點及故障的可能因素。

例如，延展性故障會出現酒窩狀凹陷與內含物，或杯狀與錐狀的色澤鈍滯表面。由於材料在最終失效之前將會出現塑性變形，因此螺絲也將會出現某類的變形情況。然而，如果負載施加非常急促，例如振動或衝擊負荷，即使緊固了，亦容易使延展性材料出現脆性故障。使用未經壓力調節的氣動安裝工具，就容易產生這類故障。



延展性斷裂

檢查螺栓的螺距是否有所變化。螺距變化代表螺栓受到拉伸，不論是受工作負荷或是安裝時的負荷，而進入降伏狀態。

脆性故障點可能平坦，類似金屬疲勞但比較光亮、露出粒狀邊界開裂，或粒狀邊界劈裂。脆性故障不會出現可見的變形跡象，有些斷裂可能呈現山形或瀑布狀圖案，這些圖案都指向應力發生的原點。

金屬疲勞會呈現跨越斷裂表面的貝殼狀或「沙灘浪痕」條紋。這些條紋是一系列淺色、深色條紋帶，或兩者都有。較深色的條紋帶表示低頻衝撞或振動；淺色的條紋帶則表示較高頻率的衝撞，或較快速的衝擊負荷。



金屬疲勞斷裂

下圖照片為車輪雙頭螺栓的金屬疲勞斷裂面。斷裂區有多處起始點，顯示車輪雙頭螺栓在鬆弛狀態下，受到旋轉負荷與彎曲負荷。通常，疲勞性斷裂發生於最末螺紋終結處，或從螺帽伸出的第一個末啮合螺紋處。

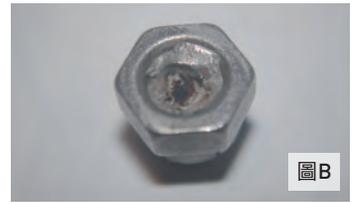


多處疲勞起始點

在高溫環境下，塗裝也會構成影響因素。若有全金屬自鎖螺帽（圖A照片）從渦輪增壓器、排氣歧管或鍋爐容器上脫落，其內部就會如圖B照片那樣。金色螺帽經過鍍鎳處理，會在溫度超過400°F或204°C時，因液態金屬脆化作用而故障（斷裂）。液態金屬脆化作用(LME)與時間有關，相較於較高溫時，其在較低溫度時會經過更長的時間才發生故障。在更高溫度下，鍍鋅也會導致液態金屬脆化作用(LME)。



圖A



圖B

分析

如何安裝扣件

其中的差別很大，因為手工絕對無法均勻鎖定扣件。螺紋摩擦阻力各異，且安裝人員的「感覺」也隨人而異。有時標準扳手的長度無法對較高等級的扣件，提供充分的槓桿作用。

扭力扳手很好，可是並非永遠準確；其中變數眾多，多為摩擦力在作祟。氣動扳手通常不對輸出扭力進行調節，其企圖找出螺紋摩擦力的失速點。若對螺紋施加潤滑，氣動扳手會使螺紋滑牙，或使扣件伸展至降伏。

氣動扳手速度快，會使不鏽鋼扣件螺紋擦傷，甚至當不鏽鋼種類不同時，速度成為使扣件故障的殺手。快速的組裝也容易造成負載不足的接頭，終究因螺帽對接頭表面產生的高壓縮率，而形成金屬疲勞。這個壓縮力會造成等量而反向的反作用力（或後座力），以致接頭不如預期的緊密牢固。



衝擊扳手對螺帽的影響

衝擊扳手總是會留下不當使用的跡象。上圖照片中螺帽的六角形角隅明確顯示套筒扳手在螺帽的安裝側（六角形角隅右側）所留下的痕跡。在脫出側（左側）也有痕跡，顯示不僅在套筒退出時留下痕跡，當套筒向前而立即經後座力回彈時，也留下了痕跡。

所使用的輔助組件

基本上，這是要檢查螺栓與螺帽的等級強度或性能分級，以便確認螺帽適用於該螺栓強度。若否，就會在斷裂表面因夾持負荷喪失而產生滑牙及(或)疲勞痕跡。

機製華司使用於第5級（公制8.8）以上螺栓時，夾持負荷也會喪失。若各華司有凹陷現象，表示夾持負荷已經喪失。下列照片中的華司，已造成大量夾持負荷的喪失。這種夾持負荷喪失導致的金屬疲勞，會使螺栓迅速故障。



外部負荷形式及負荷量

正確的螺栓選擇仰賴於對服務負載的瞭解程度。若螺栓產生彎曲，表示其強度或直徑不適用於該應用。若螺栓沒有正確緊定與保養，重度衝擊與振動負荷就會造成金屬疲勞。接頭也需要有足夠數量的螺栓，以承受負荷並減輕個別螺栓的應力。

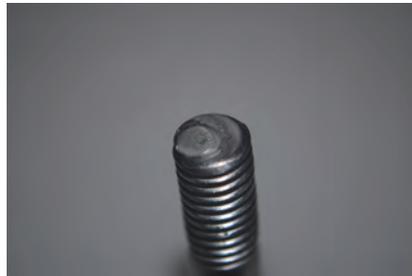
環境因素



腐蝕性環境會造成「應力腐蝕裂縫」，使得顆粒邊界受到化學侵蝕。靜止積水會構成電解電池，導致氫脆化作用。

其他狀況下，斷裂區出現鐵鏽時，可透露其故障並非近期者，而是已發展了一段時日；這情形也會導致其他應力起始點的產生。

農業機具常受嚴重的化學侵蝕，即使天天清洗也是一樣。有些人會以不鏽鋼製螺栓更換OE螺栓，以避免經常性更換生鏽螺栓。但不幸的是，在一些情況下，不鏽鋼製螺栓會以彎曲模式及金屬疲勞的形式發生故障，因為其強度不及被替換掉的OE螺栓。



故障的不鏽鋼螺栓

多支螺栓

緊定不均勻，會使多支螺栓接頭產生負荷分配問題。發生這種現象時，整個接頭開始喪失夾持負荷，而其最鬆弛的螺栓會承受金屬疲勞應力。其次，因接頭喪失了整體負荷能力，其鄰近螺栓就會受到額外的應力作為補償，從而發生骨牌效應。



斷裂表面可透露疲勞斷裂過程中，哪支螺栓最早故障，哪支最晚。最早發生疲勞的螺栓，其蔓延的斷裂區域最廣；其次是第二支螺栓，其蔓延的斷裂區域沒那麼廣；以此類推，直到最後產生疲勞者，則會發生延展性伸張（右側第3枚內六角圓頭螺栓）。

請同時注意斷裂範圍的生鏽區域，這會透露其傳播時間。在某些情形，鏽跡可成為明顯指標，證明螺栓先或既有之損壞，究竟是發生在剛開始使用該螺栓時，或是在以另一枚螺帽鎖緊後，在某次應用中突然斷裂。

接頭表面狀況

表面狀況可顯示是否需要考量扭力分散。油漆及油性表面會使摩擦力降低，並促進剪力。開孔毛邊會損及螺栓頭下方的填角區域，而造成斷離。毛邊還會構

成阻礙實心連結的障礙，猶如鏽蝕造成的一層隔離墊。不平行表面意味著需要額外力量使接頭結合，而非造成夾持負荷。

確鑿的證據

有時遇到的問題，無法從既有資料中找到合理解釋。謎團中欠缺了某些線索；搜尋這樣的線索，我稱之為「發掘確鑿的證據」。

1號案例

當吊車卡車的吊桿架在卡車底盤方向完全伸展時，將大齒輪固定在卡車駕駛艙的螺栓斷裂。已可確認組裝沒有問題；逐漸並依交叉象限順序轉緊螺栓。經進一步追問，發現螺帽是依照程序扭緊到螺栓上。

然而，當將螺栓向駕駛艙上緊時，結構過於接近，無法以扭力扳手鎖緊螺帽，於是改以轉緊螺栓頭部替代。從螺栓頭部緊定方式，可因扭力卸載作用而使夾持負荷降低達兩成之譜。

2號案例

螺帽在以液壓組裝時開裂。堅持一如往常施加正確的(109 Nm +10, -0) 扭力。總成與材料的斷裂點為136 Nm。經過深入討論，發現在此特定應用，在扭力扳手上使用了撬棒延伸腳。一支小型6吋延伸器，會使施加的扭力提升到145 Nm；在(+10)誤差下，其施加的扭力已提升到160 Nm。兩個數值都明顯超越了136 Nm的斷裂點。另外還發現使用了低黏度的液壓油，這也會進一步影響組裝總成上的扭力。

3號案例

大型農業噴灑牽引機的不鏽鋼螺栓嚴重受損，每支都有某種形式的彎曲。其斷裂表面屬於典型的金屬疲勞。客戶以不鏽鋼螺栓更換生鏽的螺栓，企圖免於頻頻更換；沒有提供其他資料。

由於不知原始扣件為何，只好下載該農業機具廠商的零件目錄。發現許多OE（原裝設備）零件多為展腳（凸緣）螺栓頭與展腳螺帽。其螺帽屬C級，意即屬於保證負荷180 ksi的自鎖螺帽。其所使用的不鏽鋼螺栓的拉力強度為100 ksi，但其降伏強度僅及60 ksi；顯然比不上所建議的OE扣件。